

АНАЛИЗ ПРИЧИН АВАРИЙ СО ВЗРЫВАМИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Ключевые слова: природный газ, причины аварий, взрывоопасная смесь, источник зажигания.

Приводится анализ одной из аварий со взрывом природного газа на объекте газораспределения. Рассмотрены причины возникновения утечек газа и формирования взрывоопасного газозооушного облака. Выявлены вероятные источники воспламенения. В ходе работы над представленным материалом проанализировано более 80 аварий со взрывами природного газа в закрытых помещениях и разработана статистическая база для последующих этапов исследования по оценке и управлению рисками подобных аварий.

Keywords: natural gas, causes of accidents, explosive mixture, ignition source.

This paper presents an analysis of one of the accidents with the explosion of natural gas at the gas distribution station. The causes of gas leakage and the formation of explosive air-gas cloud are examined. The potential sources of ignition are identified. During the preparation of this work more than 80 accidents with explosions of natural gas in indoor spaces were analysed. A statistical framework for the further stages of research on risk assessment and management of such accidents was developed.

Объекты добычи, переработки, хранения и распределения газа, объединенные газотранспортной сетью, представляют сегодня, пожалуй, одну из наиболее серьезных угроз для персонала и населения, находящегося в зонах ответственности этих объектов в случае возникновения на них чрезвычайных ситуаций. Только в ОАО «Газпром» насчитывается более 13,5 тысяч потенциально опасных участков.

По сравнению с другими видами транспорта трубопроводный является одним из наиболее надежных, и тем не менее, на газо- и продуктопроводах ежегодно происходит до 25–30 аварий (от 0,18 до 0,2 аварии на 1000 км). Еще более печальная статистика связана с эксплуатацией систем газораспределения и потребления. По данным Межгосударственного совета по промышленной безопасности /1/ только за 2013 год в России на объектах газораспределения и потребления произошло 40 аварий, травмировано 6 человек, двое – смертельно. Общий экономический ущерб составил почти 7 000 млн. руб.

При этом приведенные данные не отражают количество аварий и жертв от взрывов газа в жилом секторе. На рис. 1 приведены сведения, представленные ОАО «Росгазификация» /2/. Согласно этой информации в жилом секторе ежегодно происходят порядка 230 различных аварий, связанных с использованием природного газа, более 100 человек гибнет. Ощутимым становится материальный ущерб.

Аналогичные проблемы характерны не только для нашей страны. Так, 12 марта этого года в Нью-Йорке (США), в одном из жилых домов в районе Гарлем на севере Манхэттена произошла утечка газа. Последовавший взрыв практически полностью разрушил как само здание, так и примыкающее к нему другое жилое строение. В общей сложности в результате трагедии пострадали более 70 человек.

Пожары и взрывы на объектах газового хозяйства развиваются по следующей схеме: авария, утечка газа, образование облака взрывоопасной смеси, воспламенение ее от постороннего источника

пламени. Первопричиной взрыва в здании, как правило, является утечка газа, происшедшая внутри здания, или проникновение газового облака, образовавшегося вне здания.

Анализ /3/ показывает, что в процессе расследования аварий, примерно в 64% причины остаются не выясненными, а из остальных причин аварий доминирующими являются механические – 23%. Среди других причин авторами выделяются: стресс-коррозия (4%), нарушение правил организации труда (3%), брак строительно-монтажных работ (2 %), природные явления (1%) и прочие причины (3%).

Преобладающий процент неустановленных причин обусловлен многообразием факторов, влияющих на возникновение взрывоопасной ситуации и, зачастую, отсутствием свидетелей или замалчиванием исходных событий, приведших к аварии.

Ниже приводится анализ одной из аварий с взрывом природного газа, произошедшей на газорегуляторном пункте (ГРП), причина которой осталась «неопределенной».

Рассматриваемый ГРП представлял собой пункт редуцирования газа контейнерного типа, установленного внутри кирпичного здания с прибором для помещения операторной, а также вспомогательного помещения для размещения отопительного оборудования.

Авария произошла в период проведения плановых работ по тарировке контролирующих приборов в зимний период, при сильном ветре.

Как показал анализ сложившейся после аварии обстановки, в результате взрыва произошло разрушение большей части несущих конструкций и перекрытий кирпичного здания. Сохранились лишь более прочные элементы, связанные конструктивно с помещением операторной и технологическое оборудование, размещенное во внутреннем объеме металлического блока редуцирования.

Следы разрушений – обрушение стен в виде блоков кирпичей преимущественно с верхней части, смещение плит перекрытия со стороны фильтров в сторону противоположную входу

трубопровода указывает на предполагаемое место наибольшего скопления и воспламенения газа, а именно – в районе южного крыла здания, за пределами блока редуцирования. Оборудование, расположенное в блоке редуцирования, как и сам блок, от взрыва практически не пострадали.

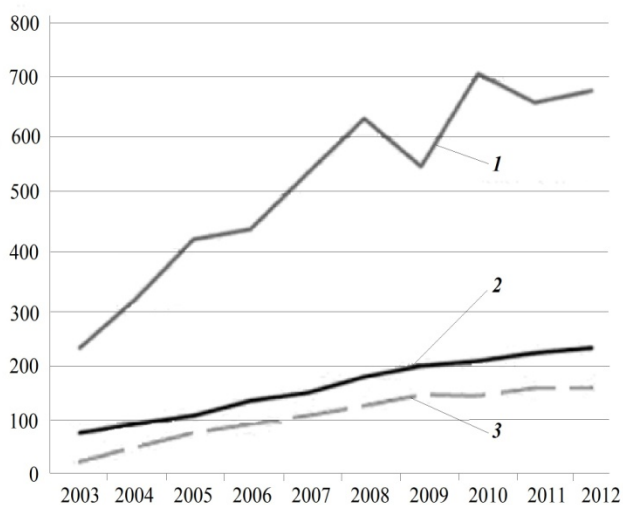


Рис. 1 - Динамика роста числа взрывов и связанных с ними количество погибших и материальный ущерб за последнее десятилетие: 1 – материальный ущерб, млн. руб.; 2 – число взрывов в год, ед.; 3 – число погибших, чел.

Проведя сопоставление вида и масштабов разрушений с известными аналогами [4] не трудно прийти к выводу, что в рассматриваемом случае, при воспламенении газа, в помещении было создано избыточное давление порядка 20 - 30 кПа.

Расчеты, выполненные по известным методикам [5-7] показывают, что для образования такой волны давления достаточно наличия в помещении 5 – 6 м³ газа.

Для сравнения следует сказать, что такое количество газа может оказаться в закрытом помещении при непрерывной утечке его через отверстие диаметром 4 мм со стороны низкого давления в течение примерно 10 минут, или при периодическом сбросе газа в течение более продолжительного времени (более 1 часа), что вполне реально в условиях выполнявшихся работ.

При анализе аварии возникают следующие вопросы: в результате чего в пространстве между блоком редуцирования и кирпичной стеной с перекрытием, окружающих блок, образовалась взрывоопасная газо-воздушная смесь, и что стало источником зажигания этой смеси.

Взрыв метана (являющегося основной природного газа) в закрытом помещении случается, когда концентрация метана в воздухе достигает 5-6% и сохраняется до уровня 12%. При концентрации более 12% метан горит в воздухе без взрыва. То есть взрыв происходит тогда, когда количество молекул метана и кислорода соответствует полному их сгоранию. Наибольшая сила взрыва происходит при концентрации метана порядка 9-9,5%.

Пределы взрыва смесей метана с воздухом показаны на рис.2. [8].

В области взрывчатых смесей 2 важным является постепенное сужение зоны между нижним и верхним пределами распространения пламени смеси метана с воздухом вплоть до выхода в точку при объемной доле кислорода более 12,2 %. Это связано с цепным механизмом передачи теплового импульса зажигания. В области 3 для осуществления цепной реакции окисления недостаточно молекул метана, в области 4 - молекул кислорода. Метан в области 3 выгорает при наличии источника тепла, например пламени, однако цепная реакция взрыва невозможна. Добавление кислорода воздуха в смесь области 4 вводит ее в так называемый «треугольник взрываемости».

При нормальных условиях метан легче воздуха (его плотность составляет 0,7166 кг/м³), поэтому при утечках он поднимается вверх и благодаря высокому коэффициенту диффузии в открытом пространстве быстро рассеивается в атмосфере. В закрытых помещениях происходит нарастание концентрации до взрывоопасной, начиная с верхней его части.

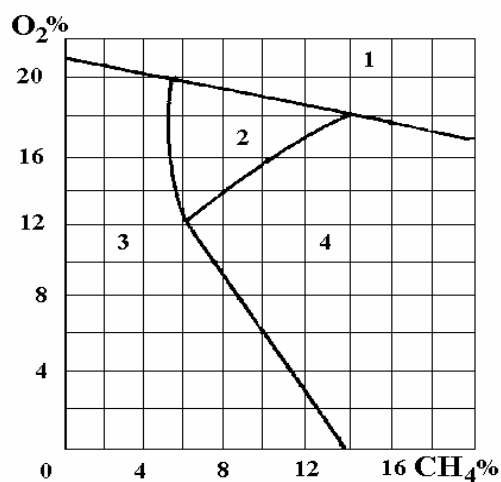


Рис. 2 - Объемные пределы взрываемости метановоздушных смесей: 1 – неосуществимая смесь; 2 – взрывчатая смесь; 3 – невзрывчатая смесь; 4 – смесь, которая может стать взрывчатой при добавлении воздуха (кислорода)

Утечка газа в рассматриваемом случае произошла в результате нарушения регламента работ по тарировке, что наглядно подтверждалось зафиксированными на фотоснимках, сделанных сразу после взрыва, открытые краны и отсоединенные штуцера датчиков давления после завершения работы с ними и выполнении операций на других линиях.

При этом в противоположной стороне от места выполнения работ в верхней части помещения возникла взрывоопасная концентрация газа.

При рассмотрении этого предположения резонно возникал вопрос: будет ли газ накапливаться в помещении, тем более при небольших утечках, при наличии действующей

естественной вентиляции? Разрушенное помещение было оборудовано двумя дефлекторами, что практически должно было исключать создание взрывоопасной концентрации. Фактически этого не произошло.

Здесь следует вспомнить весьма существенный недостаток, присущий естественной вентиляции - так называемое «опрокидывание тяги». Особенно это характерно для помещений с высокой герметичностью, например, современные жилые помещения с оконными блоками из стеклопакетов, лишаящих помещения необходимым естественным притоком воздуха. Кстати, на Западе, откуда эти изделия к нам и пришли, не используют герметичные окна вместе с естественной вентиляцией без организации притока. В Европе либо устанавливают приточные клапаны (оконные или стеновые), либо совмещают герметичное окно с принудительной приточно-вытяжной вентиляцией.

В рассматриваемом случае, в условиях низкой наружной температуры и плотно закрытых дверях при отсутствии каких либо проемов (клапанов) для поступления наружного воздуха, это явление стало решающим фактором в нарушении правильного воздухообмена, что и привело при незначительных сбросах газа при тарировке к накоплению его в верхней части помещения (рис. 3.)

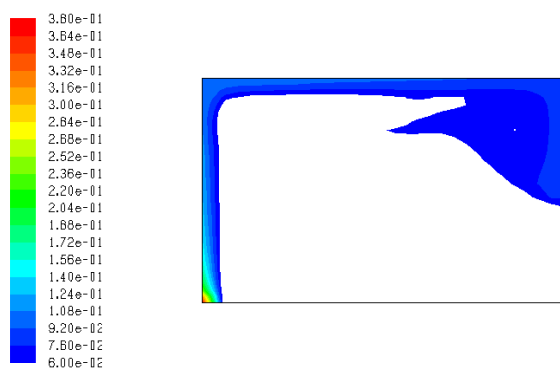


Рис. 3 - Поле концентраций метана (C % об.), по высоте помещения, формирующееся в течении 10 мин при истечении из отверстия диаметром 4 мм при отсутствии естественного проветривания

Даже если предположить, что за счет разности плотностей газа и воздуха (у газа она составляет порядка $0,7 \text{ кг/м}^3$) под потолком помещения образовалось облако с концентрацией 5,5 – 6 % об., то в нижних слоях оно будет иметь распределение концентраций согласно графику на рис. 4 и поэтому не ощущалось обслуживающим персоналом, привыкшем работать в подобной атмосфере.

Представленный рисунок и график построены с помощью Программного комплекса FLUENT 6.3 исходя из мат. модели переноса газа в ламинарном потоке, описываемой системой уравнений:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = S_g$$

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \rho g_i$$

$$\frac{\partial(\rho \tilde{N}_g)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i C_g)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho D_m \frac{\partial C_g}{\partial x_i} \right) + S_g$$

где ρ — плотность топливно-воздушной смеси, кг/м^3 ; D_m — коэффициент молекулярной диффузии метана в воздухе ($D_m = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$); u_i, u_j, u_k — компоненты осредненной скорости, $i, j, k = 1, 2, 3$ (u_1, u_2, u_3 — проекции вектора скорости на оси x, y и z соответственно); x_i, x_j, x_k — декартовы координаты, $i, j, k = 1, 2, 3$ (x_1, x_2, x_3 — координаты по направлению осей x, y и z соответственно); S_g — интенсивность утечки, отнесенная к единице объема, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$.

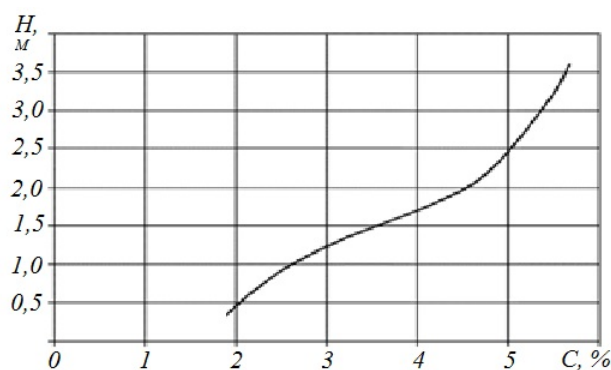


Рис. 4 - График распределения концентрации метана C по высоте помещения H

Расход утечки и время действия источника выброса задавались исходя из условия обеспечения объемной концентрации C у потолка здания, равной 5,5-6 % об. при установившемся поле концентраций.

Относительно источника зажигания проблемы представляется менее определенной.

Дело в том, что температура воспламенения метана в два раза выше, чем, например, у бензина. Другими словами, даже сильно разогретые тела не в состоянии поджечь метано-воздушную смесь. Экспериментально установлено, что смеси метан-воздух не могут воспламениться от таких источников, как: тлеющие сигареты, и бумага, окалины массой 0,1-0,2 г, выбрасываемых из выхлопных труб двигателей, при ударах инструментов и т.п. /8/.

Для метана характерно запаздывание воспламенения при соприкосновении его с источником зажигания. Причиной этого является специфика горения метана, который начинает диссоциировать и гореть лишь после поглощения определенного количества теплоты ($92,5 \text{ кДж/моль}$).

Исходя из изложенного, источником зажигания в данном случае могла быть либо электрическая искра, либо открытый огонь.

Поскольку электропроводки в зоне нахождения возможного источника взрыва не было,

остается причина, обусловленная человеческим фактором.

Логичнее всего предположить, что работник наиболее пострадавший в результате взрыва и был виновен в случившемся.

Таким образом, анализируя причины подобных аварий, чаще всего приходится констатировать, что произошли они в результате халатного, непродуманного поведения человека.

В ходе работы над представленным материалом проанализировано более 80 аварий со взрывами природного газа в закрытых помещениях и разработана статистическая база для последующих этапов исследования по оценке и управлению рисками подобных аварий. В дальнейшем предполагается продолжение исследований по анализу ущерба от аварий на объектах газораспределения и газопотребления, связанных с аварийностью.

Литература

1. Межгосударственный совет по промышленной безопасности. Сведения об аварийности и травматизме по Российской Федерации за 2013 г. /http://www.mspbsng.org/stat_accident/.

2. Сушко Е. А., Зайцев А. М., Кашникова А. А., Черных Д. С. О взрывах природного газа и их последствиях в многоквартирном жилом секторе // Вестник Воронежского института ГПС РФ – 2013 – Выпуск №3 (8) – С 20-23.
3. Давыдкин С.А., Намычкин А.Ю. Анализ аварий на объектах нефтегазовой промышленности // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. 2007. 6 (16). - 7 с. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb/2007-6.-0420700050/0079>.
4. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. М., Химия, 1991 г.
5. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по пожарной и взрывопожарной опасности.
6. ГОСТ 12.3.047-98 Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля;
7. Гимранов Ф. М. Оценка последствий взрывов бытового газа // Вестник Казанского технологического университета – 2010 - № 5 – С. 150-15.
8. Голинько В.И., Алексеенко С.А., И.Н. Смоланов. Аварийно-спасательные работы в шахтах: Учебное пособие. – Днепропетровск: Лира ЛТД. – 2011. – С.480.

© И.В. Чепегин – канд. тех наук, профессор каф. промышленной безопасности КНИТУ, igor.chepegin@gmail.com.